بهبود کیفیت توان در سیستم‌های توزیع با استفاده از روش حوزه زمان سیگنال مرجع در کنترل DVR

روشنک رضائی پور

چکیده

در این مقاله، روش سیگنال مرجع، جهت کنترل بازیاب دینامیکی ولتاژ (DVR) در حوزه زمان به منظور رفع مشکلات کیفیت توان پیشنهاد گردیده است. نظر به قابلیت DVR به عنوان یکی از ادوات بهبود کیفیت توان در شبکه‌های توزیع، روش پیشنهادی با استفاده از تحلیل حوزه زمان سیگنال مرجع، می‌تواند با داشتن منبع ذخیره کننده انرژی مشکلات متعدد کیفیت توان از قبیل بیشبود ولتاژ، کمبود ولتاژ و فلیکر را برطرف نماید. کارایی این روش کنترلی با شبیه سازی توسط نرم افزار Matlab/Simulink مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی حاکی از ان است که با وجود اینکه روش پیشنهادی بسیار ساده بوده و محاسبات اندکی دارد، در مقابل طیف وسیعی از اغتشاشات ولتاژ قادر به حفظ کیفیت توان بصورت مطلوب می‌باشد.

کلیدواژه

کیفیت توان، کمبود ولتاژ ، بیشبود ولتاژ، فلیکر ،DVR

مقدمه

در یک سیستم قدرت، خطاها و بارهای غیرخطی و عملکردهای دینامیکی اغلب باعث بروز انواع اغتشاش از قبیل افت ولتاژ، فلیکر، بریدگی‌ها ، هارمونیک و ..... می‌گردد. از طرفی افزایش استفاده از مدارهای الکترونیکی حساس توسط مشتریان خانگی و صنعتی همگام با پیشرفت خصوصی سازی و رقابت، مساله کیفیت توان را به عنوان یکی از مشکلات جدی صنعت برق مطرح نموده است [۲-۱].

اغتشاشات ولتاژ می‌تواند باعث توقف فرایندها شده و با ایجاد مشکلات کیفیت توان به تلفات اقتصادی قابل توجهی منجر گردد [۴-۳].

ادوات Custom Power از سال ۱۹۹۸ در مهندسی توزیع مطرح شده اند و در میان آنها بازیاب کننده دینامیکی ولتاژ (DVR)[۲] ولتاژ اقتصادی ترین و پیشرفته ترین فناوری برای اغتشاشات ولتاژ در شبکه‌های توزیع است. بازیاب کننده دینامیکی ولتاژ همچنین به منظور حفاظت بارهای حساس از اغتشاشات ولتاژ در سطح شبکه‌های توزیع نصب می‌شود و با داشتن منبع ذخیره کننده انرژی می‌تواند جهت جبرانسازی خطاهای ولتاژ در سیستمهای توزیع مورد استفاده قرار گیرد [۸-۵].

تا کنون روشهای متفاوتی برای کنترل DVR در جهت رفع مشکلات متعدد کیفیت توان بکار گرفته شده‌است [۱۰-۹] که از بین آنها می‌توان روش کنترلی در مختصاتdq0 [۱۱]، الگوریتم PWM با استفاده از بردار فضایی ولتاژ [۱۲]، روش کنترل تکراری [۱۳] ، استراتژی مصرف بهینه انرژی [۱۴] و بسیاری از روشهای ابتکاری [۱۸-۱۵] را برشمرد. با این وجود، پیچیدگی محاسبات در روشهای کلاسیک و کند بودن یا کیفیت ضعیف پاسخ در برخی از روشهای حوزه فرکانس مشاهده می‌شود. همچنین، بسیاری از روشهای پیشین قابلیت رفع همه مشکلات کیفیت توان را ندارند.

در این مقاله، روش پیشنهادی علاوه بر سرعت و دقت بالای پاسخ، قابلیت رفع انواع اغتشاشات ولتاژ را نیز دارد. قسمتهای بعدی این مقاله مشتمل بر موارد زیر است:

در بخش ۲ ساختمان DVR به صورت کلی مورد مطالعه قرار گرفته است. بخش ۳ به توصیف روش کنترل پیشنهادی اختصاص داده شده و در بخش ۴ نتایج شبیه سازی برای رفع چند رخداد کیفیت توان از جمله اغتشاشات ولتاژ مورد بررسی

[۱] استادیار دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی، گروه برق، تبریز ، ایران r.a.rezaei@gmail.com

[۲] Dynamic Voltage Restorer

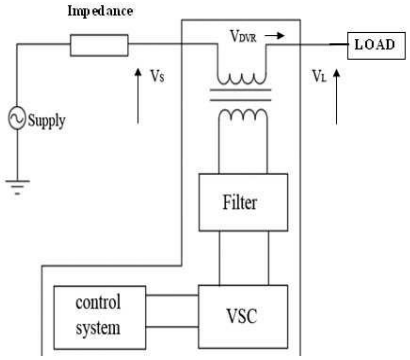
تاریخ دریافت: ۱۶ آبان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۱۷ خرداد ۱۳۹۳

قرار گرفته است. در خاتمه در بخش ۵ نتیجه گیری ارائه گردیده است.

ساختار DVR

اصولا ساختمان DVR مشتمل بر یک ترانسفورماتور سری تزریق، وفیلتر هارمونیک، مبدل منبع ولتاژ(VSC) و سیستم کنترلی می‌باشد که شکل (۱) نحوه قرار گرفتن آنها را در شبکه نشان می‌دهد [۱۹].

سیستم کنترلی DVR نقش مهمی را در رویارویی با اغتشاشات ولتاژ و تغییرات بارهای متصل شده ایفا میکند. توان اکتیوی که توسط DVR تزریق می‌شود به روش بازیابی ولتاژ بستگی دارد. ترانسفورماتور سری که بصورت یک منبع ولتاژ سری با شبکه عمل می‌کند و هر شکل موجی که توسط کنترل کننده به آن داده می‌شود توسط مبدلهای PWM تولید می‌نماید.



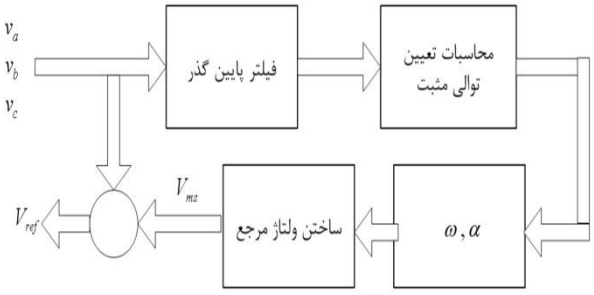
شکل۱. ساختمان کلی یکDVR در شبکه

همچنین با توجه به اینکه DVR باید قادر به تامین توان اکتیو باشد از یک ذخیره ساز انرژی سریع، در سمت DC مبدل‌های الکترونیک قدرت ترانسفورماتور سری استفاده می‌شود.

ارائه روش کنترل DVR

سیگنال کنترل سری که به ترانسفورماتور سری اعمال می‌شود باید بگونه ای باشد که بتوان با اعمال آن به ولتاژ غیرسینوسی و نامتعادل منبع، در سمت بار به ولتاژ سینوسی کامل دست پیدا نمود. به همین دلیل بدست آوردن سیگنال مرجع، که ولتاژ تصحیح شده سینوسی کامل باید به شکل آن باشد ضروری است. مراحل استخراج سیگنال در بلوک دیاگرام شکل(۲) نشان داده شده‌است.

مطابق شکل اگر سیگنالهای ولتاژ u_a ,u_b وu_c ولتاژهای دارای اعوجاج سه فاز باشند، پس از گذر از فیلتر پایین گذر، فقط دارای مولفه فرکانس اصلی هستند. حال با استفاده از رابطه (۱) مولفه‌های لحظه ای توالی مثبت آنها یعنی u_a^+، u_b^+، u_c^+ محاسبه خواهد شد.



شکل۲. دیاگرام کنترل DVR

$$\begin{bmatrix} u_a^+ \\ u_b^+ \\ u_c^+ \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ -0.5 & 1 & -0.5 \\ -0.5 & -0.5 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} + \frac{\sqrt{3}}{6\omega}\begin{bmatrix} 0 & D & -D \\ -D & 0 & D \\ D & -D & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن D عملگر مشتقگیر می‌باشد.

پس ازآن، مقدار موثر ولتاژ توالی مثبت با استفاده از رابطه (۲) بصورت لحظه ای تعیین می‌گردد.

$$U = \left(\sqrt{abs\left(\frac{1}{T}\int_t^{T+t}(u^+)^2\right)}\right) \quad (۲)$$

حال شکل موج مولفه اصلی ولتاژ دارای اعوجاج که بصورت رابطه (۳) می‌باشد در دسترس است.

$$u_a^+ = \sqrt{2}U\sin(\omega t + \alpha) \quad (۳)$$

اکنون می‌توان شکل موج ولتاژ مرجع را مطابق رابطه (۴) با تصحیح مقدار موثر ولتاژ در رابطه (۲) ایجاد نمود.

$$v_a = \frac{V}{U}u_a^+ = \sqrt{2}V\sin(\omega t + \alpha) \quad (۴)$$

که درآن V مقدار موثر ولتاژ مطلوب می‌باشد. در نهایت با مقایسه سیگنال مرجع بدست آمده از رابطه(۴) و سیگنال دارای اغتشاش، سیگنال کنترل ترانسفورماتور سری بدست میاید.

شبیه سازی

جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی، در این قسمت، شبیه سازی کامپیوتری با استفاده از نرم افزار SIMULINK درمحیط MATLAB برای چند رخداد مختلف ولتاژ صورت گرفته است.

وجود کمبود ولتاژ

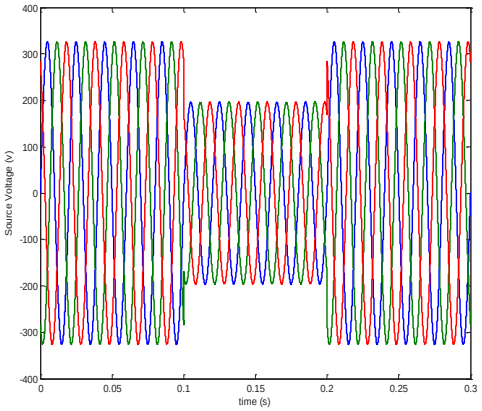
مشخصات سیستم مورد مطالعه به شرح زیر است:
یک شبکه ۴۰۰ ولت سه فاز دارای بار خطی توان ثابت ۱۰kW درنظر گرفته شده‌است که از زمان t=۰/۱s الی t=۰/۲ s دچار ۴۰٪ کاهش ولتاژ می‌شود.
شکل(۳ الف-پ) به ترتیب شکل موج ولتاژ منبع، ولتاژ جبرانسازیDVR و ولتاژ اصلاح شده را نشان می‌دهند. در شکل(۳- الف) ولتاژ از زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۲ s دچار ۴۰٪ کاهش ولتاژ شده‌است. در شکل(۳- پ)-قبل از جبران کمبود ولتاژ یک سیکل قدرت طول کشیده تا فیلتر بتواند مقدار موثر را بخواند و بعد از جبران دوباره یک سیکل طول می‌کشد تا مقدار موثر را بخواند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روش کنترل پیشنهادی پس از سپری شدن حالت گذرای کوتاهی موفق به رفع مشکل کمبود ولتاژ شده‌است.

وجود بیشبود ولتاژ

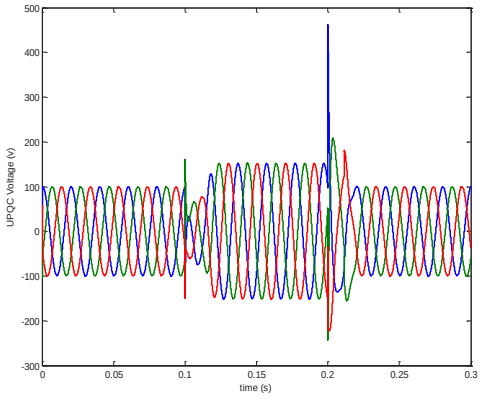
در شکل (۴- الف) ولتاژ از زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۲ s دچار ۴۰٪ افزایش ولتاژ شده‌است. شکل‌های (۴- ب) و(۴- پ) به ترتیب ولتاژهای DVR و ولتاژ اصلاح شده را نشان می‌دهند. در شکل(۴- پ) نوساناتی که در هنگام ظاهر شدن بیشبود ولتاژ و رفع آن در ولتاژ بار دیده می‌شود مربوط به پاسخ فیلتر پایین‌گذر می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این حالت نیز جبران‌ساز به سرعت اغتشاش ایجاد شده را بر طرف نموده به‌طوری‌که ولتاژ به جز نوسانات هنگام وقوع خطا و رفع آن تقریبا بدون تغییر مانده است.

وجود فلیکر

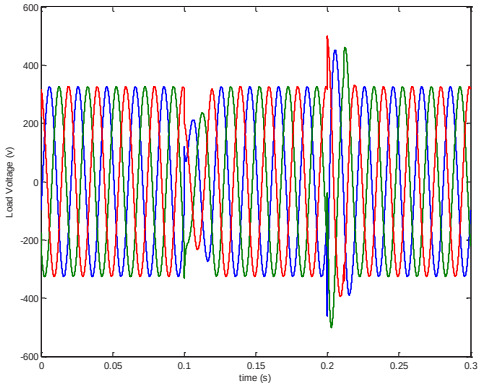
یک شبکه ۴۰۰ ولت سه فاز دارای بار خطی توان ثابت ۱۰kW درنظر گرفته شده‌است که زمان t=۰/۱ s الی t=۰/۴ s دچار نوسانات دامنه به مقدار ۲۰٪+ تا۲۰٪- و با فرکانس ۸ هرتز می‌گردد. همانطور که از شکل‌های (۵. الف- پ) برداشت می‌شود، فلیکر ولتاژ شدید ایجاد شده در سمت منبع مشاهده می گردد، در اثر فعالیت بازیاب دینامیکی ولتاژ به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.



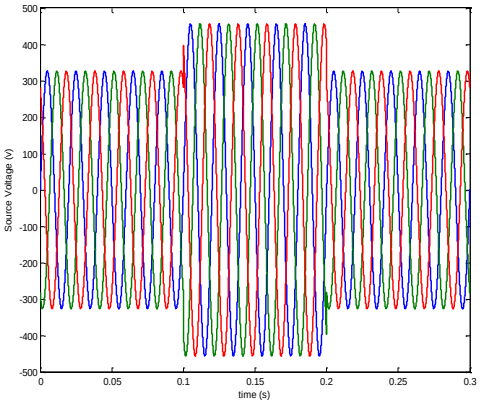
شکل (۳- الف). شکل موج ولتاژ منبع(کمبود ولتاژ)



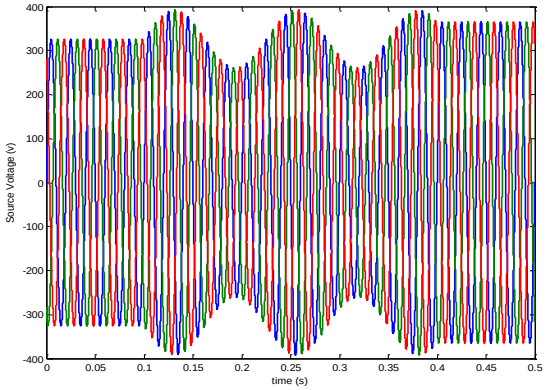
شکل (۳- ب). ولتاژ جبرانسازیDVR



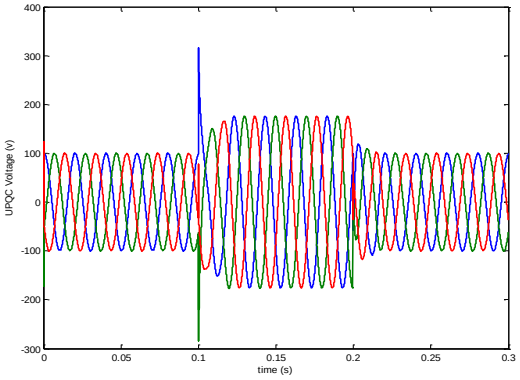
شکل (۳- پ). ولتاژ اصلاح شده



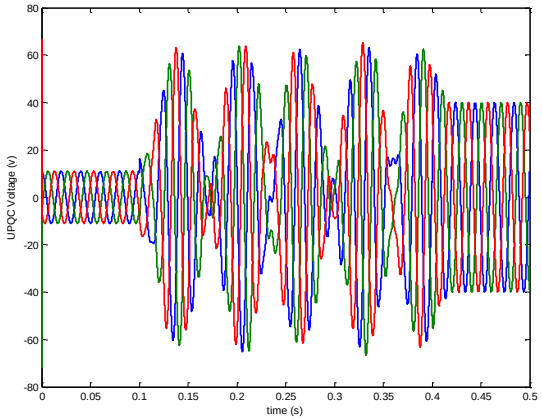
شکل (۴- الف). شکل موج ولتاژ منبع(بیشبود ولتاژ)



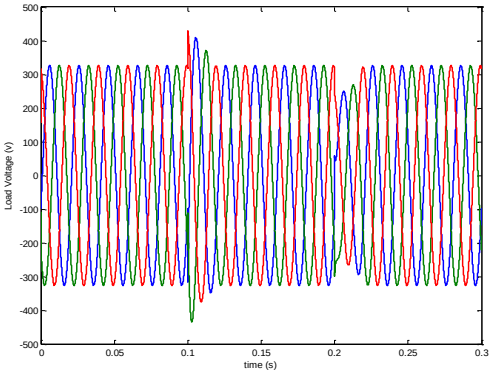
شکل (۵- الف). فلیکر ولتاژ ایجاد شده در سمت منبع



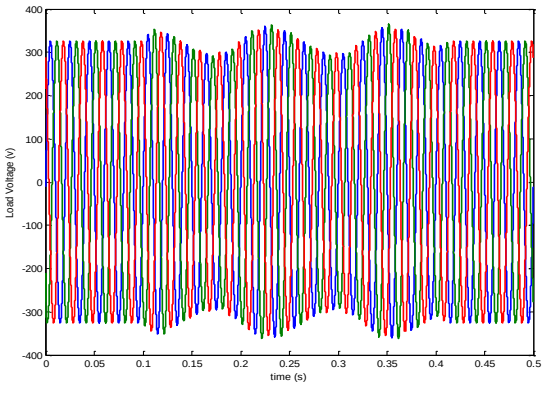
شکل (۴- ب). ولتاژ جبرانسازی DVR



شکل (۵- ب). ولتاژ جبرانسازی DVR



شکل (۴- پ). ولتاژ اصلاح شده



شکل (۵- پ). ولتاژ اصلاح شده

همانطور که از شکل‌های (۵. الف- پ) برداشت می‌شود، فلیکر ولتاژ شدید ایجاد شده در سمت منبع مشاهده می‌گردد، در اثر فعالیت بازیاب دینامیکی ولتاژ به نحو قابل ملاحظه ای کاهش یافته است.

نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش کنترل برای بازیاب کننده دینامیکی ولتاژ مبتنی بر محاسبه سیگنال مرجع در زمان ارائه گردید. روش پیشنهادی بسیار ساده و سریع بوده و مبتنی بر شرایط شبکه در هر لحظه از زمان عمل می‌نماید. شبیه سازی کامپیوتر بر روی یک سیستم نمونه برای اغتشاشات ولتاژ صورت گرفت و در تمامی موارد، روش پیشنهادی به نحو مطلوب موفق به حذف اغتشاشات گردید. نتایج شبیه سازی حاکی از آن است که روش مبتنی بر سیگنال مرجع در حذف کمبود ولتاژ، بیشبود ولتاژ و فلیکر بسیار مطلوب عمل می‌نماید و تا حد قابل توجهی منجر به بهبود وضعیت کیفیت توان می گردد.

مراجع

[1] R.Omar, and N.A.Rahim, "Power quality improvement in low voltage distribution system using dynamic voltage restorer (DVR)," the 5th IEEE Conf. on Electronics and Applications, pp. 973-978, 2010.

[2] B. Singh, K. Al-Haddad, and A.Chandra, "A review of active filters for power quality improvement," IEEE Trans. on Industrial Electronics , vol.46, no.5, pp. 960-971, 1999.

[3] D.M. Vilathgamuwa, A.A.D.R. Perera, and S.S. Choi, "Voltage Sag compensation with energy optimized Dynamic Voltage Restorer", IEEE Trans. on Power Del., vol. 11, no. 3, pp. 928-936, 2003.

[4] V. Salehi, S. Kahrobaee, and S. Afsharnia, "Power flow control and power quality improvement of wind turbine using universal custom power conditioner", IEEE Conf. on Industrial Electronics, pp. 1688-1692, 2006.

[5] S.S. Mahesh, M.K. Mishra, B.K. Kumar, and V. Jayashankar, "Rating and design issues of DVR injection transformer", the 3rd IEEE Conf. on Applied Power Electronics, pp. 449-455, 2008.

[6] V.K. Ramachandaramurthy, A. Arulampalam, C.Fitzer, C. Zhan, M. Barnes, and N. Jenkins, "Supervisory control of dynamic voltage restorers", IEE Proc.Gener. Transm. Distrib, vol. 151, no.4, pp. 509-516, 2004.

[7] H. Toodeji, and S.H. Fathi. "Cost reduction and control system improvement in electrical arc furnace using DVR", IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications, pp. 211-215, 2009.

[8] R.Madhusdan, G.RamamohanRao, " Modeling and simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) for power quality problems-voltage sags and swells ", International Conf. on Advances in Engineering, Science and Management , pp. 422-427, 2012.

[9] M.Sharanya, B.Basavaraja, and M.Sasikala, "An overview of dynamic voltage restorer for voltage profile improvement," International Journal of Engineering and Advanced Technology, vol. 2, no. 2, pp. 26-29, 2012.

[10] O.Rosli, N.A.Rahim, and S.Marizan, "Dynamic voltage restorer application power quality improvement in electrical distribution system: An overview," Australian Journal of Basic and Applied Sciences , vol. 5, no. 12, pp. 379-396, 2011.

[11] T.Thakur, and G.Singh "Modelling and simulation of DVR for power quality improvement" International Journal of Engineering Sciences Research , vol. 2, no. 4, pp. 304-311, 2011.

[12] M.Kavitha, T.Chandrase Khar, and D.Mohan Reddy, "Designing of dynamic voltage restorer(DVR) to improve the power quality for restructured power systems," American Journal of Electrical Power and Energy Systems , vol.2, no.3, pp. 94-97, 2013.

[13] A.Venkata, and Dr.K.Narasimha Rao, "Power quality improvement using repetitive controlled dynamic voltage restorer for various faults.," International Journal of Engineering Research , vol.2, no.1, pp. 168-178, 2012.

[14] M.R. Banaei, S.H. Hosseini, and G.B. Gharehpetian, "Inter-line dynamic voltage restorer control using a novel optimum energy consumption strategy" Simulation Modelling Practice and Theory,. Vol. 14, no. 7, PP 989–999,2006.

[15] P.Kumari, and V.Kumargarg, "Simulation of dynamic voltage restorer using Matlab to enhance power quality in distribution system," International Journal of Engineering Research and Applications., vol.3,no.4, pp.1436-1441, 2013.

[16] M. A. Bhaskar, S. S. Dash, C. Subramani, M. J. Kumar, P. R. Giresh, and M.V. Kumar "Voltage quality improvement using DVR", International Conf. on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing, pp. 378-380, 2010.

[17] P. Roncero-Sánchez, E. Acha, J. E. Ortega-

Calderon Vicente Feliu, and A.García-Cerrada, “A versatile control scheme for a dynamic voltage restorer for power-quality improvement”, IEEE Trans., Power Del., vol. 24, no. 1, pp. 277-284, 2009.

[18] P. G. Gonzalez, and A. G. Cerrada “Analysis of a Neutral-Point-Connected DVR and comparison with a conventional and a transformer-less DVR”, *Internal report*. Comillas, Madrid, 2010.

[19] A. Kumar Jena, B. Mohapatra, and K.Pradhan, “Modeling and simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR),” A Project Report for the degree of Bachelor of Technology in Electrical Engineering , Rourkela, Odisha, 2008.